

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Sledování opotřebení inteligentních nástrojů

Monitoring Wears of Intelligent Cutting Tools

Student:

Karel Krzyžanek

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jiří Kratochvíl, Ph.D.

Ostrava 2011

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra obrábění a montáže

## **Zadání bakalářské práce**

Student: **Karel Krzyžanek**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie  
Specializace: 70 Strojírenská technologie  
Téma: **Sledování opotřebení inteligentních řezných nástrojů**  
**Monitoring Wears of Intelligent Cutting Tools**

Zásady pro vypracování:

1. Úvod.
2. Teoretický rozbor experimentu.
3. Zpracování naměřených hodnot.
4. Vyhodnocení experimentu.
5. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábani*. Žilina : EDIS Žilina, 2007. s. 343. ISBN 978-80-8070-711-8.  
[2] HUMÁR, A. *Slinuté karbidy a řezná keramika pro obrábění*. Brno : CCB, s.r.o. Brno, 1995. 265 s. ISBN 80-85825-10-4.  
[3] POPEOVÁ, V. *Monitorovanie opotrebenia rezných nástrojov*. Žilina : Vydavateľstvo ŽU EDIS Žilina, 2001. ISBN 80-7100-700-5.  
[4] VLACH, B. a kol. *Technologie obrábění a montáží*. Praha : SNTL, 1990. ISBN 80-03-00143-09.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jiří Kratochvíl, Ph.D.**

Datum zadání: 17.12.2010

Datum odevzdání: 23.05.2011

  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.  
vedoucí katedry



  
\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 5.5.2011 .....

.....  


podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 - školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická universita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo - bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohou jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněná v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě .....5.5.2011



podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce:

Karel Krzyžanek

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Písek č.493  
73984

**ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

KRZYŽANEK, K. *Sledování opotřebení inteligentních nástrojů : bakalářská práce.* Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2011, 39 s. Vedoucí práce: Kratochvíl, J.

Bakalářská práce se zabývá sledováním opotřebení inteligentních řezných nástrojů. Materiál nástroje je řezná keramika na bázi nitridu křemíku s nanesenou odporovou vrstvou. V první části práce je teoreticky rozebrána problematika opotřebení řezného nástroje a způsoby měření opotřebení. V následující kapitole je popsána řezná keramika se zaměřením na nitridovou keramiku. Dále je zpracován teoretický rozbor experimentu se soustavou SNOP a použitými přístroji. Stěžejní částí práce je pak zpracování naměřených výsledků a jejich grafické vyhodnocení v závislosti opotřebení na čas. V závěru jsou pak shrnuty všechny poznatky získané z experimentu.

**ANNOTATION OF THESIS**

KRZYŽANEK, K. *Monitoring Wears of Intelligent Cutting Tools: Bachelor Thesis.* Ostrava: VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Working and Assembly, 2011, 39 p. Thesis head: KRATOCHVÍL, J.

This thesis deals with intelligent monitoring wear of cutting tools. Materials ceramic cutting tool is based on silicon nitride coated with a resistive layer. The first part is theoretically analyze the problem of wear of cutting tools and ways to measure wear. The following chapter describes the cutting ceramics with a focus on nitride ceramics. Furthermore, the theoretic analysis of experiment system SNOP and spectrometer. The central part is the processing of measured results and their graphic evaluation depending on the wear of time. The conclusion summarizes all the lessons learned from the experiment.

## Obsah

	strana
0 Úvod .....	- 7 -
1 Opotřebení řezného nástroje .....	- 8 -
1.1 Princip opotřebení .....	- 8 -
1.2 Hlavní faktory ovlivňující opotřebení břitu .....	- 8 -
1.3 Mechanizmy opotřebení břitu .....	- 9 -
1.4 Klasifikace typů opotřebení břitu nástrojů .....	- 10 -
1.5 Kritéria opotřebení .....	- 13 -
1.6 Metody zjišťování otupení obráběcího nástroje .....	- 15 -
2 Řezná keramika .....	- 16 -
2.1 Rozdělení řezné keramiky .....	- 17 -
2.2 Výroba řezné keramiky .....	- 18 -
2.3 Obecný postup výroby keramických materiálů .....	- 19 -
2.4 Použití řezné keramiky .....	- 19 -
3 Teoretický rozbor experimentu .....	- 20 -
3.1 Použitý stroj .....	- 20 -
3.2 Použitý nástroj .....	- 21 -
3.2.1 Destička .....	- 21 -
3.2.2 Držák destičky .....	- 22 -
3.3 Materiály použité při experimentu .....	- 23 -
3.3.1 Ocel 12020 (C15E) .....	- 23 -
3.3.2 Ocel 14220 (16MnCr5) .....	- 24 -
3.3.3 Ocel 15142 (42CrMo4) .....	- 25 -
3.4 Upnutí materiálu při obrábění .....	- 26 -
3.5 Dílenský mikroskop s osvětlením .....	- 26 -
3.6 Postup prováděného experimentu .....	- 27 -
4 Zpracování naměřených hodnot .....	- 29 -
5 Vyhodnocení experimentu .....	- 31 -
5.1 Břit č. 2 .....	- 31 -
5.2 Břit č. 3 .....	- 32 -
5.3 Břit č. 4 .....	- 34 -
5.4 Grafické porovnání velikosti opotřebení všech destiček .....	- 35 -
6 Závěr .....	- 37 -
7 Seznam použité literatury: .....	- 38 -

## Seznam použitých zkratk a symbolů

značka	popis	jednotka
A	tažnost	[%]
CA	oxidová keramika na bázi $Al_2O_3$	[-]
CM	směsná keramika na bázi $Al_2O_3$ s přísadou neoxidových komponent	[-]
CN	neoxidová keramika na bázi nitridu křemíku $Si_3N_4$	[-]
CC	povlakovaná keramika	[-]
KB	šířka žlábků	[mm]
KF	vzdálenost žlábků od čela	[mm]
KT	hloubka žlábků	[mm]
KM	střední vzdálenost žlábků	[mm]
L	délka obrobení	[mm]
R <sub>m</sub>	mez pevnosti v tahu	[MPa]
VB	opotřebení na hřbetě	[mm]
VB <sub>C</sub>	opotřebení v oblasti špičky nástroje	[mm]
VB <sub>N</sub>	opotřebení ve formě vrubu	[mm]
VB <sub>B</sub>	opotřebení přímé části ostří (průměrně)	[mm]
VB <sub>B max</sub>	opotřebení maximální	[mm]
VBD	vyměnitelná břitová destička	[-]
a <sub>p</sub>	hloubka řezu	[mm]
f	posuv	[mm]
n	otáčky	[1/min]
t	čas nástroje v řezu	[s]
v <sub>c</sub>	řezná rychlost	[m/min]
v <sub>f</sub>	posuvová rychlost	[mm/min]

## **0 Úvod**

V dnešní době s vývojem techniky, máme mnohem více příležitostí k novým experimentálním metodám měření opotřebení a otupování břitů nástrojů. A jelikož se čím dál víc klade důraz na snižování výrobních nákladů skrze navržené technologie. Probíhá snaha o zavedení těchto technologií do běžné praxe v podnicích. To se může zrealizovat jen pod podmínkou ekonomické nenáročnosti dané technologie měření.

Princip a jednoduchost inteligentních nástrojů tuto podmínku splňuje, proto má tato metoda velmi dobrý základ pro globalizaci.

Pomocí této metody můžeme měřit opotřebení a otupení nástroje během řezu a tím eliminujeme předčasnou výměnu břitové destičky. Protože můžeme přesně určit velikost opotřebení i konec technické životnosti vyměnitelné břitové destičky vyložením. Zkrátí se i vedlejší časy z důvodu méně časté výměny nástroje.

Tato bakalářská práce se zabývá v rámci širšího experimentu měřením opotřebení vyměnitelné břitové destičky z neoxidické keramiky, na bázi nitridu křemíku s nanosenou odporovou vrstvou. Další parametry důležité pro tento experiment, jako jsou teplota a elektrický odpor, zpracovávali studenti Ondřej Vícha a Vlastimil Hloušek. Tato práce bude zkoumat funkčnost sestavy (vyměnitelnou břitovou destičku, nožový držák). Dále bude v práci proveden teoretický rozbor opotřebení břitů a řezné keramiky.

Tato práce je vypracovaná na základě experimentálního měření. Podklady k teoretické části práce byly získané z literatury a informací nabytých z dosavadního studia.



## 1 Opotřebení řezného nástroje

### 1.1 Princip opotřebení

Opotřebení je běžným důsledkem funkce všech strojních součástí, které jsou ve vzájemném kontaktu a relativním pohybu. Při obrábění dochází v důsledku řezného procesu k relativnímu pohybu nástroj-obrobek a nástroj-tříska, i ke kontaktu nástroje s obrobkem (na hlavním a vedlejším hřbetě a špičce nástroje) a odcházející třískou (na čele nástroje), což musí nutně vést k opotřebení nástroje. [1]

Všechny břity řezných nástrojů podléhají při obrábění určitému opotřebení, kterému jsou vystaveny až do okamžiku dosažení konce doby trvanlivosti.

Při obrábění načisto je břit VBD považován za opotřeбенý, není-li schopen dosahovat požadované kvality opracování povrchu. Při hrubovacích operacích se tolerují podstatně větší hodnoty opotřebení. [2]

### 1.2 Hlavní faktory ovlivňující opotřebení břitu

Opotřebení břitu je ovlivněno mnoha faktory zde jsou ty nejhlavnější:

- **Řezná rychlost ( $v_c$ ):**

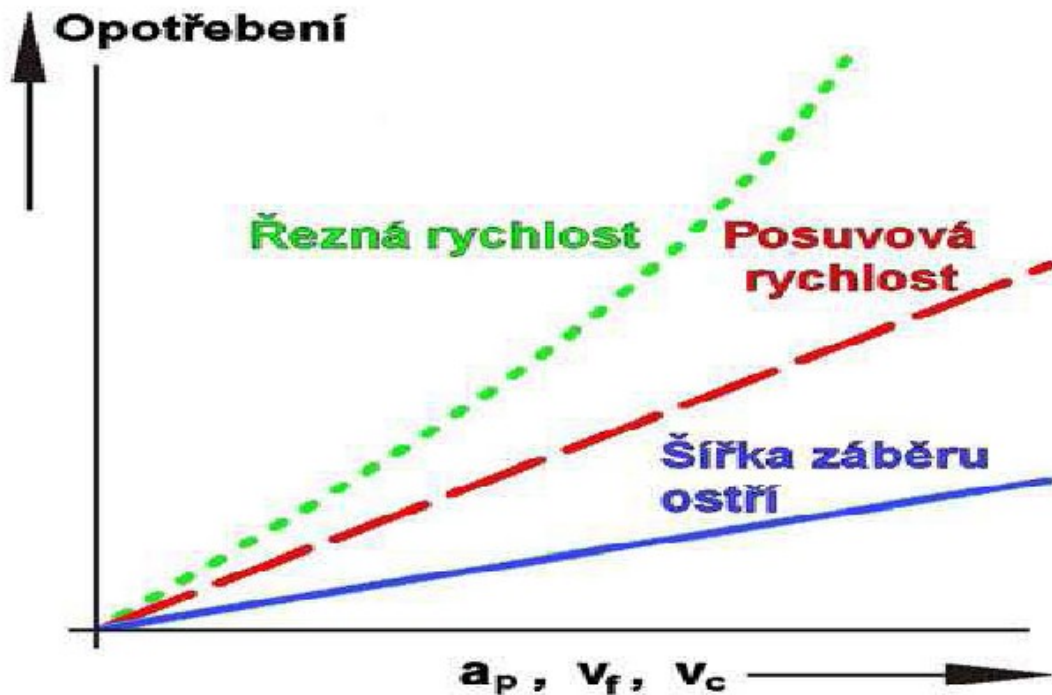
Čím větší je rychlost tím dříve se opotřebí břit nástroje. Faktor nejvíce ovlivňující opotřebení břitu nástroje. (Obr. 1.1)

- **Posuvová rychlost ( $v_f$ ):**

Vliv posuvové rychlosti na opotřebení břitu nástroje je o něco menší než u řezné rychlosti. Opotřebení se projeví hlavně na hřbetu, z důvodu zatlačování hřbetu do obrobku. (Obr. 1.1)

- Šířka záběru ostří  $a_p$ :

Protože šířka záběru se zvětšuje pouze se zvětšením hloubky řezu (tím se zvětší pouze plocha třísky), má nejmenší vliv na opotřebení. (Obr. 1.1 Vliv řezných podmínek na opotřebení [3])



Obr. 1.1 Vliv řezných podmínek na opotřebení [3]

Další faktory ovlivňující opotřebení bříty:

- Teplota řezání
- Obráběný materiál
- Nástrojový materiál
- Jakost ostří
- Řezná geometrie

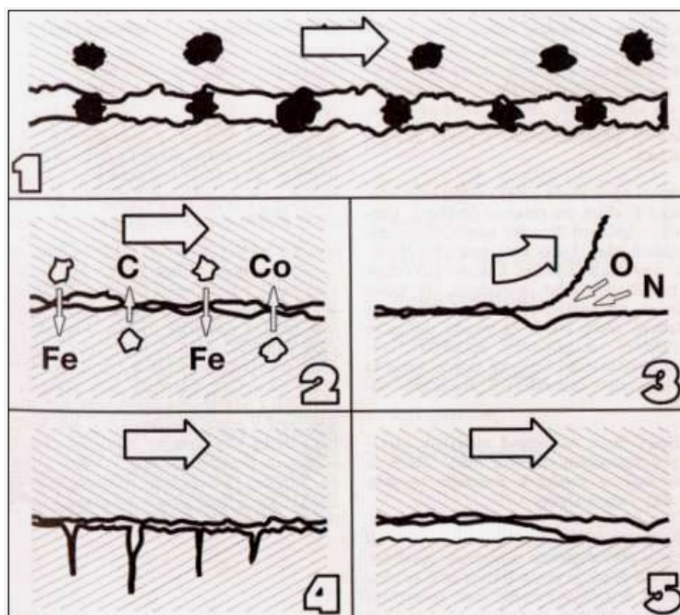
### 1.3 Mechanizmy opotřebení bříty

Na základě výše uvedených faktorů dochází k zatěžování bříty nástroje. To se pak projeví jeho opotřebením. Na základě toho můžeme identifikovat základní mechanismy opotřebení jako je:

- **abrazivní opotřebení** - Brusný otěr vlivem tvrdých mikročástic obráběného materiálu i mikročástic uvolněných z nástroje.[5]
- **adhézní opotřebení** - Vznik a okamžité následné porušování mikrosvarových spojení na stýkajících se vrcholcích nerovností čela a třísky, v důsledku vysokých teplot a tlaků, chemické příbuznosti materiálů a kovově čistých povrchů. [5]
- **difuzní opotřebení** - Migrace atomů z obráběného do nástrojového materiálu a naopak, a z ní vyplývající vytváření nežádoucích chemických sloučenin ve struktuře nástroje. [5]
- **oxidační opotřebení** - Důsledek vysokého tepelného a mechanického zatížení, kumulovaného v čase[5]
- **křehký lom** - Důsledek vysokého tepelného a mechanického zatížení, např. přerušovaný řez, nehomogenity a vměstky v obráběném materiálu, atd. [5]

#### 1.4 Klasifikace typů opotřebení bříty nástrojů

Mohou nastat jednotlivé typy opotřebení nástrojů viz. Obr. 1.2



Obr. 1.2 Hlavní mechanismy opotřebení bříty nástrojů [2]

## **Opotřebení hřbetu bříty**

Patří mezi abrazivní formy opotřebení. Plochy hřbetu a hlavního ostří, u vedlejšího ostří a poloměru špičky, jsou před utvářením třísky, v průběhu a po utváření třísky zvlášť vystaveny působení materiál obrobku. Opotřebení hřbetu je všeobecně obvyklým typem opotřebení. Příliš velké opotřebení hřbetu má za následek zhoršení jakosti obrobeného povrchu, nepřesnost rozměrů a narůstající tření, které vzniká změnou geometrie bříty.[4]

### **1. Opotřebení ve tvaru žlábků na čele bříty**

Je důsledkem působení mechanismů difuzního opotřebení a abraze. Žlábek vzniká částečně úběrem materiálu nástroje vyvolaným brousícím pochodem, který způsobují tvrdé částice obsažené v materiálu obrobku, ale hlavně difuzní vodík v místě bříty s nevyšší teplotou, tzn. v kontaktním místě mezi třískou a materiálem bříty.[4]

### **2. Plastická deformace bříty**

Vzniká působením kombinace vysokých teplot a řezných tlaků na bříty. Plastická deformace bříty ještě více zvyšuje teploty a má za následek změnu geometrie bříty a změny v odchodu třísek. Plastickou deformaci bříty lze zmenšit použitím správného zaoblení ostří a volbou vhodné geometrie bříty. [4]

### **3. Opotřebení ve tvaru vrubu na hřbetě bříty**

Patří k typickým adhézním opotřebením, může však stejně dobře souviset s jevem oxidačního opotřebení. Vruby vznikají v místě kontaktu bříty s bokem třísky. Toto opotřebení se omezuje přesně na to místo, kudy proniká vzduch do oblasti obrábění. Velké opotřebení hřbetu ve tvaru vrubu ovlivňuje utváření třísky a může vést k lomu destičky.[4]

### **4. Hřbenovité trhliny na ostří**

Jsou formou únavového opotřebení, které vzniká tepelnými šoky. Zvláště změna teplot při frézování často vede k tomuto druhu opotřebení. Trhliny se tvoří kolmo na

ostří, přitom se mohou částice řezného materiálu vylamovat a vyvolat tak náhlý lom břitu.[4]

## **5. Únavový lom**

Je typickým následníkem velkých změn velikosti řezných sil. Tento druh lomu vzniká vlivem součtu neustále se měnících různých zařízení, kdy působení jednotlivých druhů zatížení není samo o sobě dost velké, aby mělo za následek křehký lom. Lomové plochy probíhají obvykle paralelně s ostřím.[4]

## **6. Vydrolování ostří**

Je formou opotřebení, při nichž se břit vydroluje. Toto opotřebení je způsobeno špičkami zatížení a vede k tomu, že drobné částičky řezného materiálu se začnou oddělovat z povrchu břitu.[4]

## **7. Lom břitu nástroje**

Představuje náhlou poruchu a okamžitý konec jeho technického života. Totální lom je často velmi nebezpečný a mělo by se mu za všech okolností zabránit. Křehký lom může být způsobený různými faktory, často je zvolený materiál málo houževnatý, aby mohl zvládnout všechny požadavky na obrábění.[4]

## **8. Tvoření nárůstku**

Tvorba nárůstku je v převážně většině případů fenoménem, vztahujícím se k teplotám a řezným rychlostem. Může však být způsobena i odlupováním vrstev v místě břitu nebo jinými formami opotřebení. Mimo změny geometrie působí tato forma opotřebení negativně, protože se částice materiálu mohou odlomit. Negativním důsledkem je zhoršený obrobený povrch součásti. Nadměrná tvorba nárůstku může vést až k lomu. [5]

## 1.5 Kritéria opotřebení

Kritéria dle normy ISO 3685 viz. Obr. 1.3 Kritéria opotřebení řezného nástroje dle ISO 3685 [1]

Nejpoužívanější kritéria jsou opotřebení na hřbetě, protože má vliv na obrobený povrch součásti. Hloubka žlábků snižuje výrazným způsobem pevnost nástroje a radiální opotřebení špičky má vliv na rozměry součásti.

VB - opotřebení na hřbetě

VB<sub>C</sub> - opotřebení v oblasti špičky nástroje

VB<sub>N</sub> - opotřebení ve formě vrubu

VB<sub>B</sub> - opotřebení přímé části ostří (průměrné)

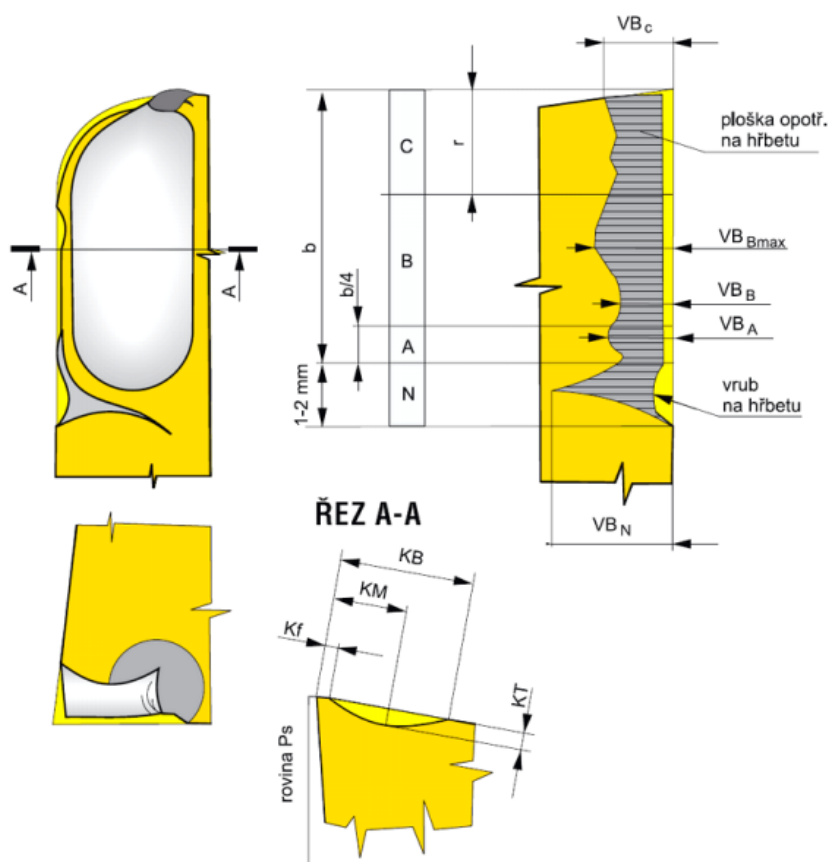
VB<sub>Bmax</sub> - opotřebení maximální

KT - hloubka žlábků

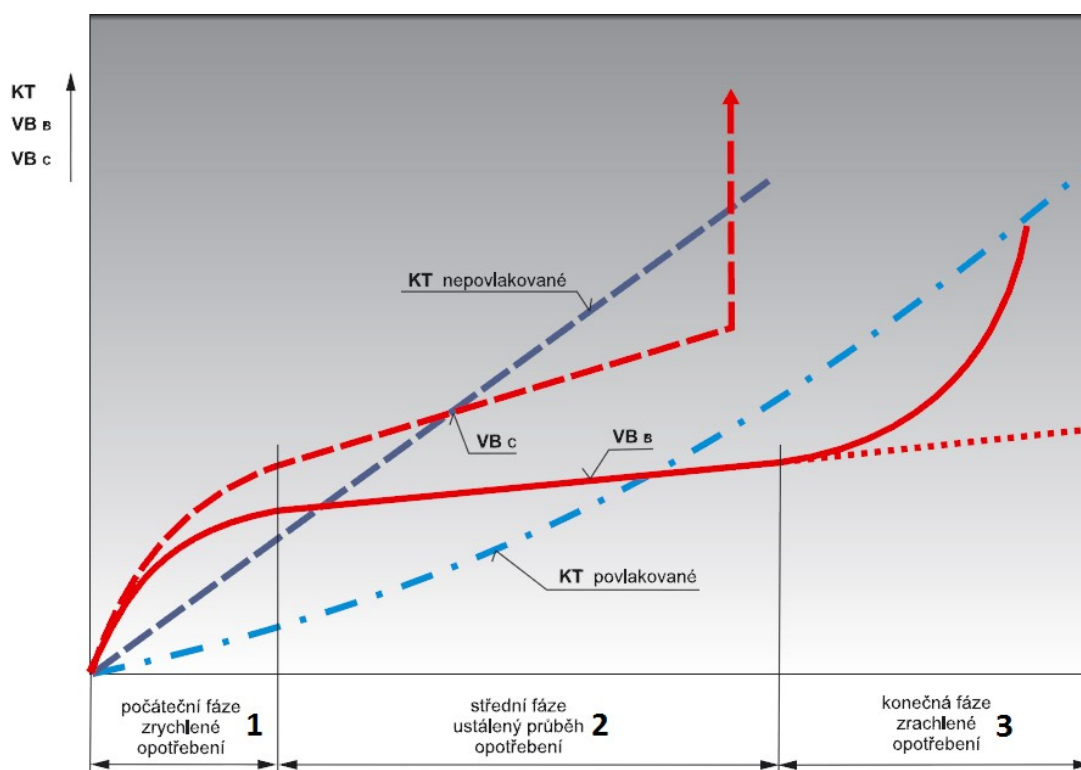
KF - vzdálenost žlábků od čela

KM - střední vzdálenost žlábků

KB - šířka žlábků



Obr. 1.3 Kritéria opotřebení řezného nástroje dle ISO 3685 [1]



Obr. 1.4 Graf závislosti doby řezání na opotřebení  $VB_c$ ,  $VB_b$  a  $KT$  [6]

Nejčastější teoretický průběh opotřebení na době řezání viz. Obr. 1.4

Graf je rozdělen do tří pásem:

#### **Pásmo 1** - oblast rychlého záběhového opotřebení

Obecně souvisí se záběhem nástroje a je způsobeno vysokým měrným tlakem na vrcholcích nerovností nástroje. [5]

#### **Pásmo 2** - oblast lineárního opotřebení

Dochází k lineárnímu nárůstu opotřebení a intenzita je konstantní. [5]

#### **Pásmo 3** - oblast rychlého nadměrného opotřebení

Bývá obvykle spojeno s limitní teplotou řezání a poklesem tvrdosti nástroje, nastává velmi rychlé, většinou lavinovité opotřebení. [5]

## **1.6 Metody zjišťování otupení obráběcího nástroje**

Rozdělení: - **přímé metody** - nutnost přerušení obrábění

- **nepřímé nepřímé** - měření probíhá přímo při procesu obrábění

### **Mezi přímé metody patří:**

- metoda váhová (hmotnostní)
- metoda radioaktivních izotopů
- metoda mikrometrická
- metoda optická (stínová)
- metoda nanesené odporové vrstvy - předmět zkoumání této bakalářské práce
- metoda pneumatická

### **Mezi nepřímé metody patří:**

- vznik lesklého proužku na povrchu obrobku
- vzrůst složek síly řezání
- zvýšení potřebného výkonu řezání
- zvýšení teploty řezání
- vznik chvění nebo nežádoucího doprovodného zvuku
- změna barvy a tvaru třísky
- změna rozměrů obrobku
- zhoršení drsnosti povrchu
- emise signálů v pásmu ultrazvuku (akustická emise)



## 2 Řezná keramika

Moderní definicí je keramika obecně charakterizována jako převážně krystalický materiál, jehož hlavní složkou jsou anorganické sloučeniny nekovového charakteru. [7] Tato definice zahrnuje nejen tradiční keramiku (porcelán, cement, cihly), ale i řezné a brousící materiály a řadu tzv. "nových" (speciálních, konstrukčních, strojírenských, průmyslových, příp. jinak nazvaných) keramických látek. Pro novou keramiku je charakteristické to, že je vyráběna z poměrně čistých surovin jako keramika syntetická se zrna malých rozměrů (velmi často pod  $1\mu m$ ). Většina látek zařazovaných pod pojmem "nová keramika" jsou látky krystalické na rozdíl od tradiční keramiky (např. porcelán, glazury), která obsahuje i značný podíl skelné (amorfní) fáze. Keramické látky jsou vázány meziatomovými vazbami iontovými a kovalentními, obvykle se vyskytují oba typy vazeb současně. V krystalové struktuře převažují složité mřížky kubické a hexagonální. [5]

Keramické řezné materiály jsou tvrdé, mají vysokou tvrdost za tepla a nereagují chemicky s materiálem obrobku. Zaručují vysokou trvanlivost břitu, snášejí vysokou teplotu (až  $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) a mohou být použity při řezných rychlostech  $300\text{ až }1600\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ . Řezná keramika jako nástrojový materiál je velmi křehká a má nízkou tepelnou vodivost. Podle ČSN ISO 513 (22 0801) se pro rozdělení a značení keramických řezných materiálů používají symboly:

CA - oxidická keramika na bázi  $\text{Al}_2\text{O}_3$

CM - směsná keramika na bázi  $\text{Al}_2\text{O}_3$  s přísadou neoxidových komponent

CN - neoxidová keramika na bázi nitridu křemíku  $\text{Si}_3\text{N}_4$

CC - povlakovaná keramika CE, CM, CN

Řezná keramika se vyrábí ve tvaru destiček, které jsou mechanicky upínané na řeznou část nástroje. Tyto destičky jsou vyměnitelné a po opotřebení se vyřazují. [4]

## 2.1 Rozdělení řezné keramiky

Do dnešní doby neexistuje žádná norma. Podání autorů rozdělení řezné keramiky se proto od sebe liší. Můžeme proto řeznou keramiku rozdělit podle chemického složení na:

**Oxidická keramika:**

- čistá (99,5%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ )
- polosměsná ( $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2 + \text{CoO}$ ),
- směsná keramika ( $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2 + \text{TiC}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC} + \text{TiN}$ ),
- vyztužená (oxidická nebo nitridová keramika vyztužená pomocí  $\text{SiC}$  nebo  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ). Prakticky všechny druhy keramiky lze vyrábět ve formě s vyztužujícími vlákny.

**Nitridová keramika:** ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4 + \text{Y}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4 + \text{TiN}$ , sialony).

### Oxidická keramika: čistá

Keramika na bázi čistého oxidu hlinitého má relativně nízkou pevnost a houževnatost a také malou tepelnou vodivost. Tyto zajiště ne zrovna nejlepší vlastnosti pro obrábění kovů jsou příčinou vylamování břitů při nepříznivých podmínkách obrábění. [2]

### Oxidická keramika: směsná

Směsná keramika na bázi oxidu hlinitého získává přidáním kovové fáze vyšší odolnost proti tepelnému šoku. Tento typ řezného materiálu je pro svoji zlepšenou tepelnou vodivost podstatně méně náchylný k lomu, ale také tato zlepšení jsou relativní a houževnatost tohoto materiálu není v žádném případě možné porovnat se slinutými karbidy. [2]

### Oxidická keramika: vyztužená

Vyztužená keramika na bázi oxidu hlinitého je relativně novým výsledkem vývoje. Nazývá se také keramika zesílená viskerem - název je odvozen od vláken krystalu, kterému se říká visker. Tyto viskery mají průměr pouze cca  $1\mu\text{m}$  a délku více než

20 $\mu$ m. Sestávají z karbidu křemíku a mají velmi vysokou pevnost. Účinky tohoto vyztužení jsou mimořádné. Podstatně se zvýší houževnatost, pevnost v tahu, odolnost proti tepelnému šoku a současně také tvrdost za tepla a odolnost proti opotřebení. [2]

### **Nitridová keramika:**

Neoxidová keramika na bázi nitridu křemíku je naprosto rozdílný řezný materiál. Zvláště chování při tepelném šoku a houževnatost jsou lepší, než u keramiky na bázi oxidu hlinitého. Při obrábění šedé litiny s velkým objemem odebíraného materiálu nemá tento řezný materiál konkurenci. Obrábění šedé litiny je relativně jednoduché, přesto klade při velkém objemu odbíraného materiálu a vysokých řezných rychlostech velmi vysoké požadavky na řezný materiál, kterými jsou: vysoká tvrdost zatepla, pevnost, houževnatost, odolnost proti tepelnému šoku a chemická stabilita.

Keramika na bázi nitridu křemíku si zachovává vysoký stupeň tvrdosti zatepla při teplotách, které slinutý karbid už nesnáší. Mimo to je houževnatější než keramika na bázi oxidu hlinitého. I když tento řezný materiál nemá takovou chemickou stabilitu při obrábění oceli jako keramika na bázi oxidu hlinitého, lze jej úspěšně použít k obrábění šedé litiny zasucha i při chlazení řeznými rychlostmi až přes 400 m/min.

Keramika z nitridu křemíku je dvoufázový materiál, v němž jsou krystaly nitridu křemičitého uloženy v pojivu, jeho vlastnosti jsou určovány složením. Výroba destiček se provádí lisováním zastudena a slinováním, nebo - výhodnější metodou - lisováním zatepla s vybrušováním tvarů. I tento materiál je relativně novým řezným materiálem, který byl vyvinut kolem roku 1970. Jeho používání se rozšířilo i do oblasti konstrukčních materiálů, například na výrobu vysokovýkonných konstrukčních dílů pro motory. [2]

## **2.2 Výroba řezné keramiky**

Proces výroby kompaktních keramických součástí (a tedy i vyměnitelných břitových destiček pro řezné nástroje) je velmi podobný procesu výroby součástí ze slinutých karbidů a cermetů. Zásadní rozdíl je, ale v tom, že keramické materiály neobsahují žádný materiál, jehož funkcí by bylo spojení jednotlivých zrn tvrdé fáze do

jednotlivého tělesa. Tato skutečnost výroby řezné keramiky znesnadňuje a klade vysoké nároky na výrobní zařízení. Další důležitou podmínkou úspěšné výroby je dodržení všech předepsaných parametrů technologického postupu. [5]

### **2.3 Obecný postup výroby keramických materiálu**

příprava práškové směsi

mletí

- míchání
- tvarování
- sušení
- předslinování
- slinování
- úpravy povrchu

### **2.4 Použití řezné keramiky**

Hlavní oblasti použití pro keramiku jsou: šedá litina, žáruvzdorné slitiny, kalené oceli, tvárná litina a v některých případech také ocel. Úspěch použití keramiky je ve velké míře závislý na podmínkách obrábění, jako jsou:

- stabilita upnutí všeobecně
- stabilita stroje
- řezné podmínky
- rozdělení a vedení řezu

K tomu je ještě nutné připočítat přizpůsobení břitu k danému způsobu obrábění, které je určováno parametry:

- druh fasetky
- úhel hřbetu
- úhel břitu

### 3 Teoretický rozbor experimentu

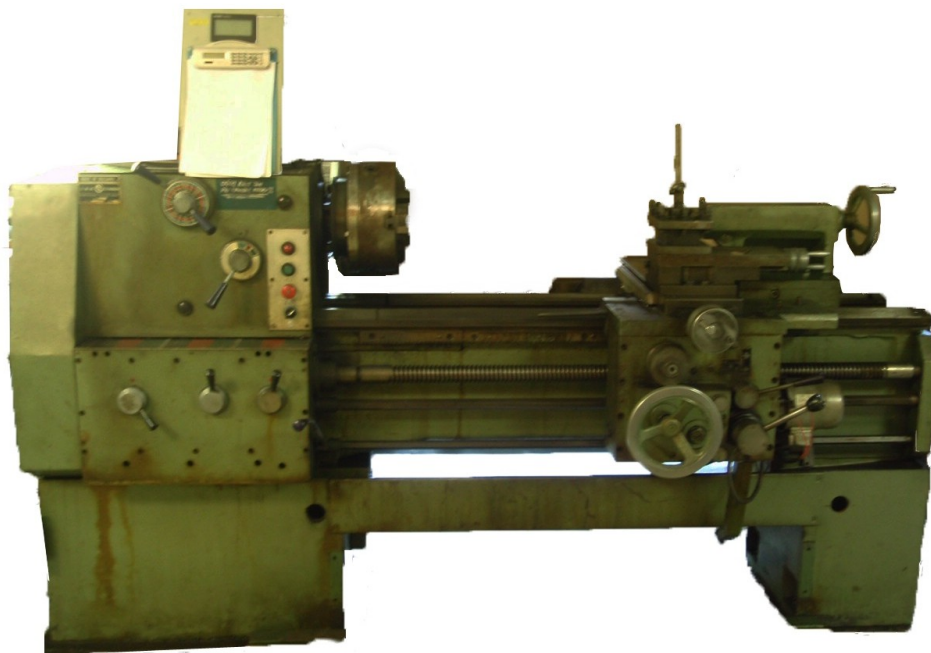
V této kapitole je podrobně rozebrána soustava SNOP a postup měření experimentu.

#### 3.1 Použitý stroj

K provedení experimentu byl použit školní universální hrotový soustruh bulharské výroby MAŠSTROJ TROJAN CV11MV. Stroj je umístěn v prostorách laboratoř VŠB-UO. Parametry stroje jsou uvedeny v tab. 3.1

*Tab. 3.1 Parametry použitého stroje.*

Popis	hodnota
Oběžný průměr nad ložem	500mm
Oběžný průměr nad suportem	290mm
Vzdálenost hrotů koníka	1100mm
Průměr sklíčidla	Ø250/315mm



*Obr. 3.1 Universální hrotový soustruh Mašstroj Trojan*

## 3.2 Použitý nástroj

### 3.2.1 Destička

Pro tento experiment byla zvolena VBD od firmy kyocera KS 6000. Destička je z křemiko nitridové keramiky s nanesenou odporovou vrstvou ( viz. Obr. 3.2).



Obr. 3.2 VBD KS6000

Doporučené zařazení dle ISO 513 od výrobce VBD je patrné z Tab. 3.1. Skupina K je určena pro obrábění materiálů, které tvoří krátkou drobnou třísku. Nejlépe se hodí na obrábění litiny, temperované litiny a litiny s globulárním grafitem. Samotné obrábění lze provést s nebo bez chlazení.

Nitridová keramika vyznačuje vyšší houževnatostí, pevností v ohybu, odolností vůči cyklickému a tepelnému namáhání. Chemická stabilita a odolnost proti opotřebení je u nitridové keramiky nižší. U experimentu bylo soustružení prováděno plynulým, nepřerušovaným řezem. Protože se při soustružení měřila teplota pyrometrem, což by bylo u přerušovaného řezu problematické.

Tab. 3.1 Zařazení VBD dle výrobce[8]

Workpiece Material		Cast Iron (Gray Cast Iron / Nodular Cast Iron)			
Cutting Range		Finishing ← → Roughing			
ISO Classification		K01	K10	K20	K30
Turning	Ceramic	KA30			
		A65			
		A66N			
		PT600M			
			KS6000		

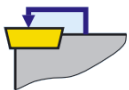





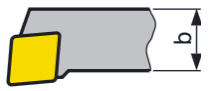



Tab. 3.2 Vlastnosti a použití nitridové keramiky KS6000

obráběný materiál	značka	hlavní složka	tvrdost základního materiálu [GPa]	lomová houževnatost [ $\text{MPa} \cdot \text{m}^{\frac{1}{2}}$ ]	příčné síly [MPa]	doporučená oblast řezné rychlosti $v_c$ [m/min]
litiny	KS6000	$\text{Si}_3\text{N}_4$	15,7	6,5	1230	50-1500

### 3.2.2 Držák destičky

Pro tento experiment byl zvolen speciální držák značky CERADEx pro vedení elektrického signálu tělem nože. Přesné označení držáku destičky je XCSRNR2525M-1207SEN. Všechny rozměry držáku jsou uvedeny v Tab. 3.3.

Tab. 3.3 Rozměrová charakteristika držáku CERADEx: XCSRNR2525M-1207SEN

Druh držáku	Způsob upnutí	Tvar destičky	Tvar nože	Úhel hřbetu
<b>X</b> Speciál Speciál	<b>C</b> 	<b>S</b> 	<b>R</b>  75°	 <b>N</b> $\alpha_n = 0^\circ$
Směr řezu	Výška řezu	Šířka držáku	Délka držáku	-
<b>R</b> 	 25	 25	 150	-
Velikost hrany	Tloušťka destičky	Tvar destičky	Úhel hřbetu	provedení
12	7	<b>S</b> 	E	<b>N</b> 

### 3.3 Materiály použité při experimentu

Experiment byl prováděn na materiálech:

- ocel 12020 rozměr: Ø100x9000
- ocel 14777 rozměr: Ø100x9000
- ocel 15192 rozměr: Ø100x6500

#### 3.3.1 Ocel 12020 (C15E)

Tato nelegovaná konstrukční ocel se používá pro méně namáhané strojní součásti silničních motorových vozidel určené k cementování. Je určena k chemicko-tepelnému zpracování, se střední pevností v jádře po kalení, např. méně namáhaná ozubena kola, vačkové hřídele apod. Ocel není vhodná ke galvanickému pokovování.

Jiné značení:

Materiál: 12020 Norma: ČSN 4112020 Stát:CZ Rok:1988

Číslo materiálu: 412020 Ekvivalent ČSN:12020

Ekvivalent EN: C15E

Tab. 3.4 Chemické složení (hm.%) a mechanické vlastnosti materiálu 12020

prvek	Fe	C	Cr	Cu	Mn	Ni	P	S	Si
min	zbyt	0,13	-	-	0,6	-	-	-	0,15
max	-	0,2	0,25	0,3	0,9	0,3	0,04	0,04	0,4
značka	R <sub>m</sub> [MPa]	A <sub>10</sub> min [%]							
hodnota	390-510	23							



Obr. 3.3 Obrobený materiál ocel 12020



### 3.3.2 Ocel 14220 (16MnCr5)

Je to konstrukční nízkolegovaná ušlechtilá mangan-chromová ocel určená k cementování. Je dobře tvářitelná za tepla po žhání na měkko i za studena. Je dobře obrobitelná a svařitelná. Používá se pro strojní součásti pro zušlechtění do průměru 35mmk cementování s velmi tvrdou cementovanou vrstvou s velkou pevností v jádře.

Jiné značení:

Materiál: 14220 Norma: ČSN 414220 Stát:CZ Rok:1978

Číslo materiálu: 412020 Ekvivalent ČSN:14220

Ekvivalent EN: 16MnCr5

Tab. 3.5 Chemické složení (hm.%) a mechanické vlastnosti materiálu 14220

prvek	Fe	C	Cr	Mn	P	S	Si
min	zbyt	0,14	0,8	1,1	-	-	0,17
max	-	0,19	1,1	1,4	0,035	0,035	0,37
značka	Rm [MPa]	A <sub>10</sub> min [%]	HB				
hodnota	685-930	10	156-207				



Obr. 3.4 Obrobený materiál ocel 14220

### 3.3.3 Ocel 15142 (42CrMo4)

Je to Konstrukční nízkolegovaná ušlechtilá chrom-molybdenová ocel k zušlechťování. Je dobře tváritelná za tepla, ve stavu žíhaném na měkko dobře obrobitelná. Je vhodná pro povrchové kalení rozměrných výkovků. Tvrdost povrchové kalené vrstvy závisí na způsobu kalení, rozměru geometrickému tvaru součásti. Použití na velmi namáhané součásti strojní a silničních motorových vozidel.

Jiné značení:

Materiál: 15142 Norma: ČSN 415142 Stát:CZ Rok:1978

Číslo materiálu: 415142 Ekvivalent ČSN:15142

Ekvivalent EN: 42CrMo4

Tab. 3.6 Chemické složení (hm.%) a mechanické vlastnosti materiálu 15142

prvek	Fe	C	Cr	Mn	Mo	P	S	Si
min	zbyt	0,38	0,9	0,5	0,15	-	-	0,17
max	-	0,45	1,2	0,8	0,30	0,035	0,035	0,37
značka	Rm [MPa]	A <sub>10</sub> min [%]	HB					
hodnota	1000-1200	11	max.241					



Obr. 3.5 Obrobený materiál ocel 15142

### 3.4 Upnutí materiálu při obrábění

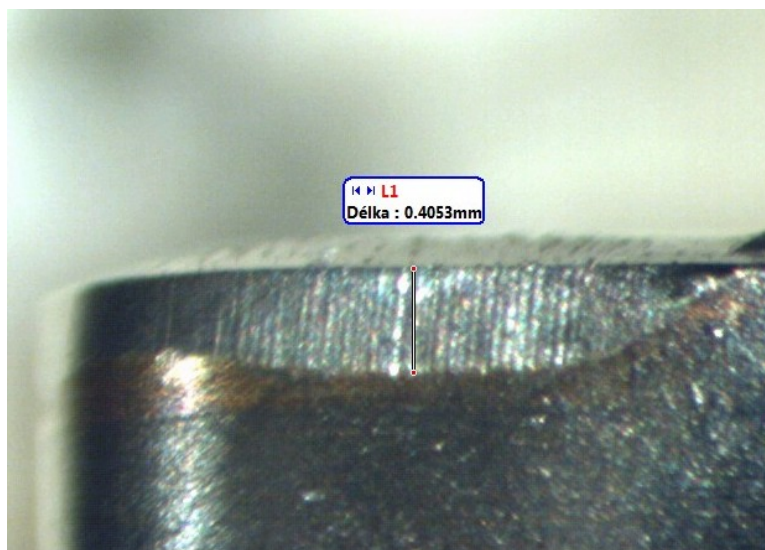
Všechny tři polotovary byly upnuty stejným způsobem. Jedna strana polotovaru byla upnuta do tříčelistového sklíčidla. Druhá strana podepřena hrotem, který byl upnutý v pinole koníku. Tím byla omezena házivost polotovaru.

### 3.5 Dílenský mikroskop s osvětlením

Pro měření opotřebení VBD byla zvolena mikrometrická metoda. Měření bylo provedeno na dílenském mikroskopu od firmy INTRACO MICRO spol. s r.o. (viz. Obr. 3.6). Vzorek byl osvětlen pomocí osvětlovače, od stejné firmy, který měl dva ohybné světlovody. Mikroskop byl vybaven digitální kamerou a až pětinasobným zvětšením obrazu. Tento obraz se pak převedl do stolního počítače kde se pomocí softwaru MOTIC IMAGE PLUS 2.0 ML pořídili digitální snímky. Pro naměření hodnot opotřebení VBD jsme museli provést kalibraci pomocí kalibrační měrky. Ta se vyfotila ve stejné vzdálenosti a při stejném zvětšení jako VBD. Software pak již sám provedl kalibraci. Ukázka měření  $VB_{b\max}$  je na Obr. 3.7.



Obr. 3.6 Dílenský mikroskop



Obr. 3.7 Měření opotřebení VBD

### 3.6 Postup prováděného experimentu

Ještě před započítím měření byla stanovena kritická hodnota opotřebení VBD. Ta se zvolila na základě toho, aby došlo k přerušení odporové vrstvy. Proto je hodnota na hřbetě destičky rovna 0,54mm a na čele 0,68mm. Řezné podmínky při obrábění jsou popsány v tabulce 3.5. Řezná rychlost byla zvolena na základě technických možností stroje. Protože se experiment zabývá metodikou opotřebení, nemusí zvolené řezné rychlosti splňovat oblast řezných podmínek pro řeznou keramiku.

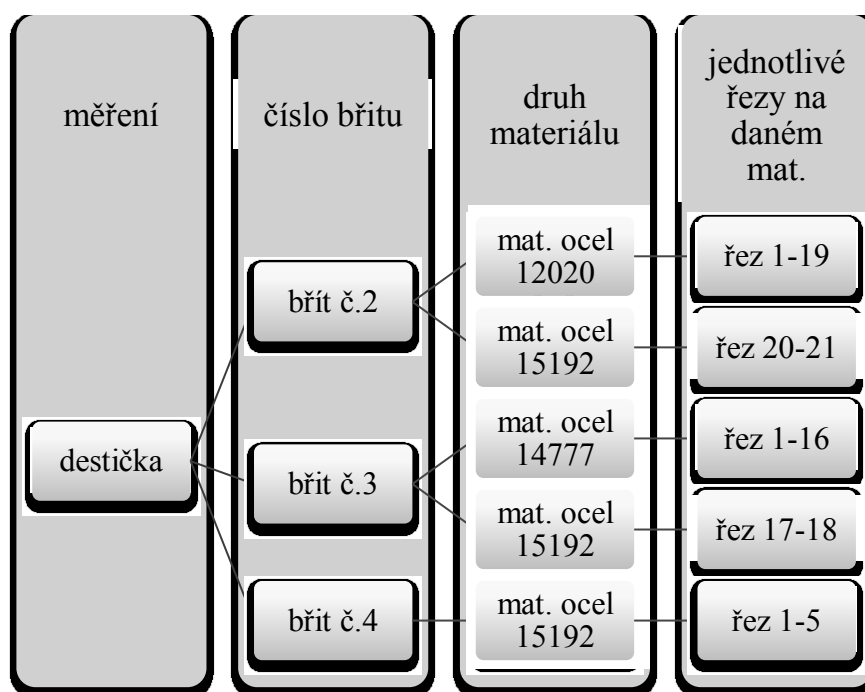
Tab. 3.7 Řezné podmínky

značka	$a_p$ [mm]	$f$ [mm]	$v_c$ [m/min]
hodnota	2	0,15	240

Pozn. Řezná rychlost, která je uvedena v tabulce, je průměrná. U samotného obrábění se pohybovala v rozmezí  $\pm 50$ mm/ot.

Vlastní měření bylo prováděno na třech různých druzích materiálu, které jsou podrobně popsány v kapitole 3.3. Řezným materiálem byla nitridová keramika s nanesenou odporovou vrstvou (viz. Kap. 3.2). Po každém provedeném řezu byl pořízen foto snímek VBD. Následně byly naměřeny hodnoty pomocí softwaru na hřbetu  $VB_{B\max}$ ,  $VB_B$  a na čele KB. Podrobný princip měření je popsán v kapitole 3.6. Obráběné materiály měly na povrchu okuje a nerovnosti. Proto se musely odebrat povrchy materiálu, aby výsledky

experimentu nebyly zkresleny. Jako první materiál byla zvolena ocel 12020. VBD má očíslované břity 1 až 8. Tento materiál se obráběl břit č. 2. U tohoto obráběného materiálu nedošlo ke kritické hodnotě opotřebení. Materiál už nebylo možno dále obrábět. Protože by již mohlo dojít k nadměrným vibracím, z důvodu malého průřezu jádra. Na oceli 12020 již nebylo možno břit opotřebit, protože další stejný materiál nebyl k dispozici. Proto byl použit břit č. 2 ještě na ocel 15192 kde již došlo k dosažení stanovené kritické hodnoty opotřebení. Dalším materiálem byla ocel 14777. Materiál byl obráběn VBD na břitu č. 3. Stejně jak u předchozího materiálu nedošlo k dosažení kritické hodnoty a další materiál nebyl k dispozici. Břit č. 3 byl proto použit na ocel 15192 kde se dosáhlo požadovaného opotřebení destičky. V obou dvou předchozích případech byly tedy obráběny dva nestejnorodé materiály jednou hranou VBD. Proto bylo rozhodnuto pokračovat v měření, aby se docílili toho, že při obrábění na jednom materiálu dojde k dosažení kritické hodnoty opotřebení. Břit č. 4 byl opotřebováván na oceli 15192 kde došlo k požadované situaci. Schematické znázornění postupu měření z podrobným popisem řezů je znázorněno na Obr. 3.8



Obr. 3.8 Schéma postupu měření

## 4 Zpracování naměřených hodnot

V následujících tabulkách jsou uvedeny všechny získané a naměřené hodnoty. Pro přehlednost jsou rozděleny podle čísla břitu.

Tab. 4.1 Vypočtené a naměřené hodnoty na břitu č. 2

břit 2	VB <sub>B</sub> [mm] materiál		KB[mm] materiál		VB <sub>B max</sub> [mm] materiál		t [min]	n [m/min]	L [mm]
	12020	15192	12020	15192	12020	15192			
řez 1	0,03		0,54		0,04		2,33	800	280
řez 2	0,05		0,57		0,05		2,33	800	280
řez 3	0,14		0,57		0,13		2,33	800	280
řez 4	0,15		0,58		0,17		6,92	800	830
řez 5	0,16		0,59		0,21		5,52	1000	828
řez 6	0,20		0,59		0,23		5,50	1000	825
řez 7	0,21		0,60		0,25		5,48	1000	822
řez 8	0,23		0,60		0,27		5,46	1000	820
řez 9	0,25		0,61		0,29		4,36	1250	817
řez 10	0,26		0,61		0,31		4,34	1250	814
řez 11	0,26		0,62		0,32		4,33	1250	812
řez 12	0,27		0,62		0,35		4,31	1250	809
řez 13	0,28		0,63		0,38		3,36	1600	806
řez 14	0,33		0,63		0,42		3,35	1600	804
řez 15	0,35		0,64		0,43		3,34	1600	801
řez 16	0,36		0,64		0,44		3,33	1600	798
řez 17	0,37		0,66		0,45		2,65	2000	796
řez 18	0,38		0,66		0,45		2,64	2000	793
řez 19	0,39		0,67		0,46		2,63	2000	790
řez 20		0,47		0,68		0,59	4,78	800	574
řez 21		0,52		0,70		0,75	3,81	1000	571

Tab. 4.2 Vypočtené a naměřené hodnoty na břitu č. 3

břit 3	VB <sub>B</sub> [mm] materiál		KB[mm] materiál		VB <sub>B max</sub> [mm] materiál		t [min]	n [m/min]	L [mm]
	14777	15192	14777	15192	14777	15192			
řez 1	0,07		0,34		0,09		4,75	800	570
řez 2	0,13		0,38		0,14		4,73	800	567
řez 3	0,16		0,59		0,15		4,70	800	564
řez 4	0,20		0,59		0,20		3,74	1000	561
řez 5	0,22		0,60		0,21		3,72	1000	558
řez 6	0,24		0,60		0,26		3,70	1000	555
řez 7	0,25		0,61		0,29		3,68	1000	552
řez 8	0,27		0,61		0,30		2,93	1250	549
řez 9	0,28		0,62		0,30		2,91	1250	546
řez 10	0,30		0,62		0,32		2,90	1250	543
řez 11	0,32		0,62		0,32		2,88	1250	540
řez 12	0,34		0,63		0,33		2,24	1600	537
řez 13	0,34		0,65		0,35		2,23	1600	534
řez 14	0,35		0,65		0,36		2,21	1600	531
řez 15	0,36		0,66		0,41		1,76	2000	528
řez 16	0,37		0,67		0,44		1,75	2000	525
řez 17		0,44		0,69		0,56	4,83	800	580
řez 18		0,57		0,69		0,69	4,81	800	577

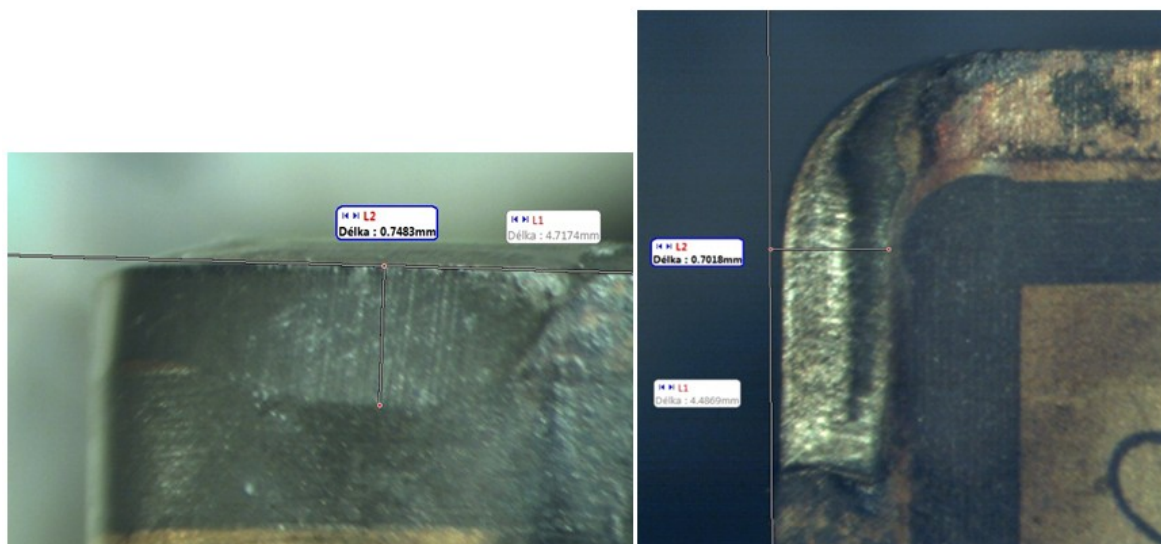
Tab. 4.3 Vypočtené a naměřené hodnoty na břitu č. 4

břit 4	VB <sub>B</sub> [mm] materiál	KB[mm] materiál	VB <sub>Bmax</sub> [mm]	t [min]	n [m/min]	L [mm]
	15192	15192	15192			
řez 1	0,13	0,65	0,14	3,79	1000	568
řez 2	0,20	0,67	0,25	3,77	1000	565
řez 3	0,28	0,68	0,38	3,00	1250	562
řez 4	0,38	0,69	0,46	2,98	1250	559
řez 5	0,48	0,70	0,56	2,32	1600	556

## 5 Vyhodnocení experimentu

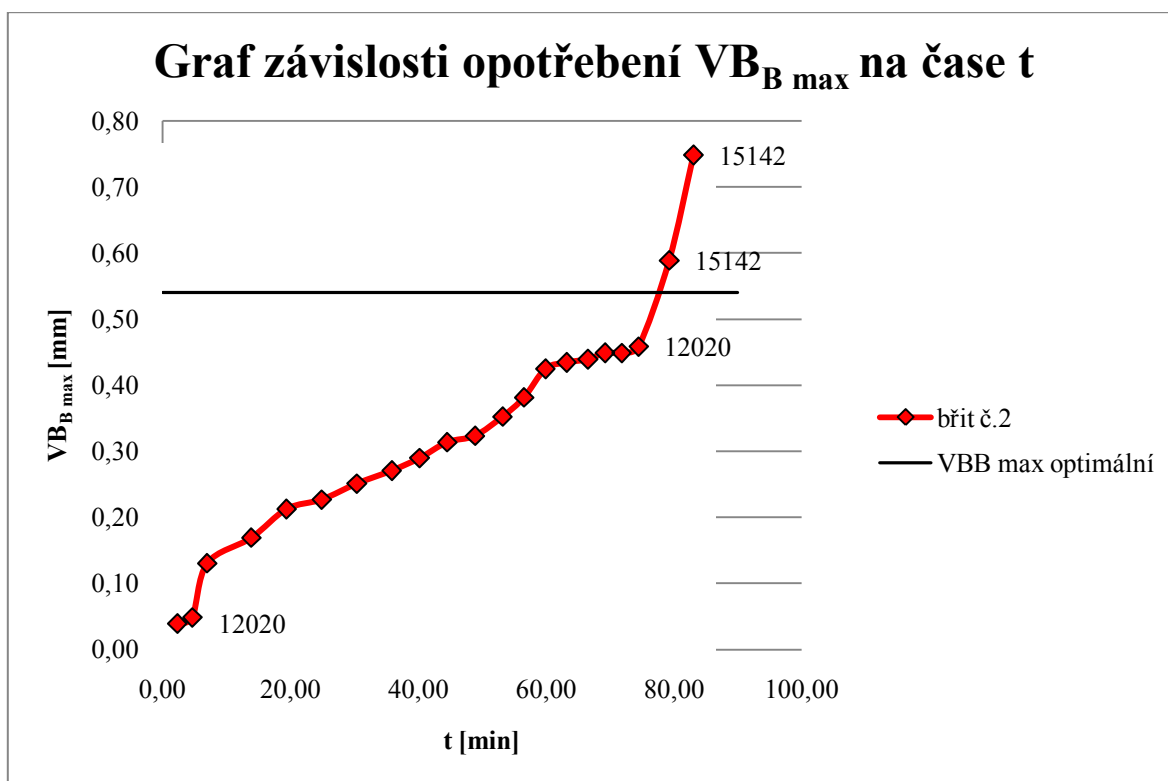
### 5.1 Břit č. 2

Na břitu č. 2 bylo provedeno 21 řezu na dvou různých materiálech Ocel 12020 (C15E) a Ocel 15142 (42CrMo4). Délka obrobení materiálů 12020 odpovídá délce 9420mm a materiálu 15142 délce 1150mm. U prvního materiálu docházelo k pomalému opotřebení břitu VBD. Rychlost průběhu opotřebení se zvýšila u materiálu 15142 kde došlo k dosažení kritéria opotřebení. Na tomto břitu vzniklo rovnoměrné opotřebení na hřbetě destičky a na čele vzniklo opotřebení ve tvaru žlábků (viz Obr. 5.1)



Obr. 5.1 Řez č. 21 vlevo hřbet vpravo čelo VBD



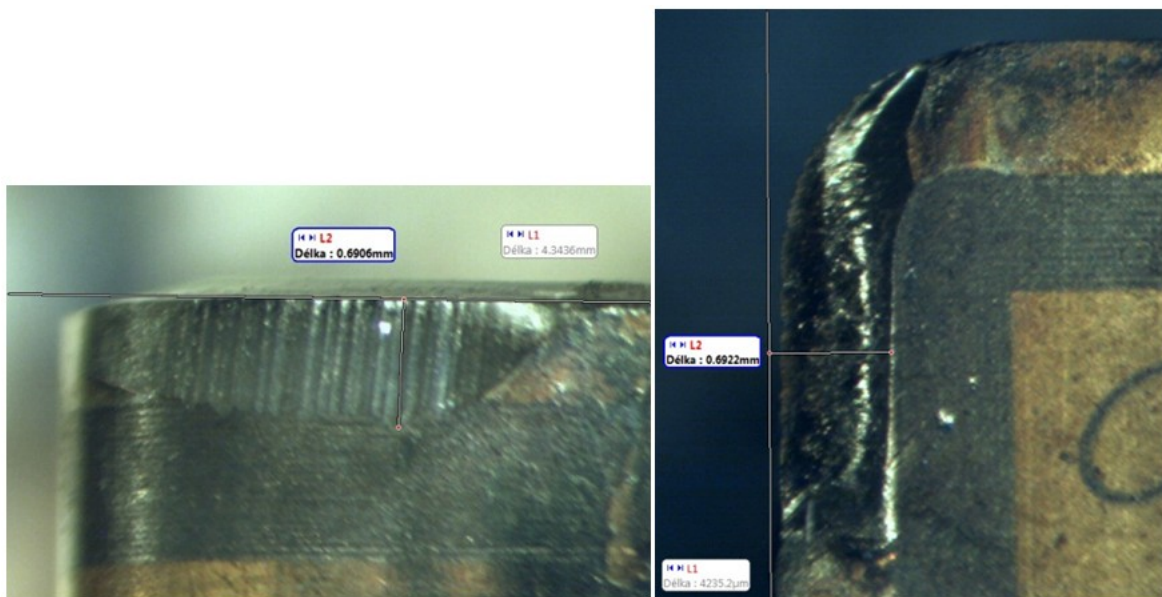


Obr. 5.2 Graf závislosti opotřebení  $VB_{B \max}$  na čase  $t$  na břitu č. 2

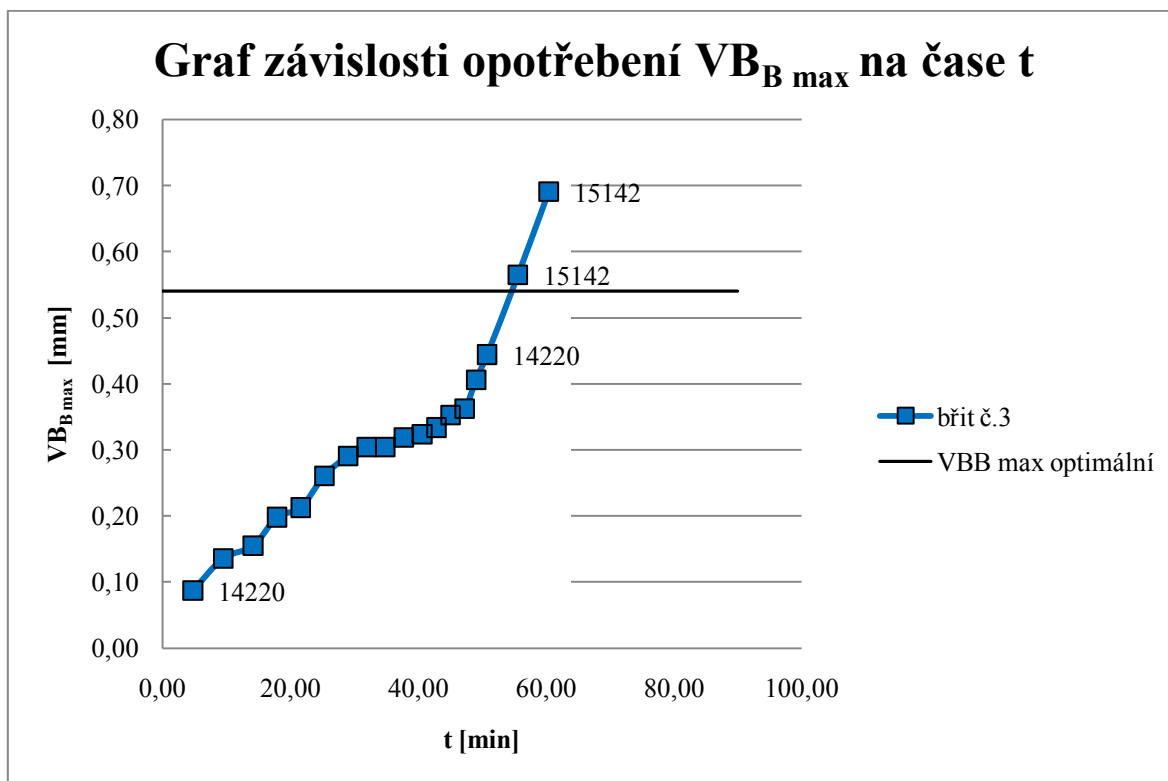
Tento graf znázorňuje, že na břitu č. 2 bylo dosaženo klasického průběhu opotřebení (viz. Obr. 1.4). Na dvou koncových bodech můžeme jasně pozorovat, že materiál 12020 je měkčí než materiál 15142. Mez pevnosti v tahu je u prvního materiálu 380MPa a u druhého 1000MPa. Proto došlo v těchto bodech k většímu nárůstu opotřebení. Vodorovná čára znázorňuje kritérium opotřebení na hřbetě destičky, které je 0,54mm.

## 5.2 Břit č. 3

Břit č. 3 byl podroben 18 řezům na dvou materiálech Ocel 14220 a Ocel 15142. Délka obrobení materiálu 14220 odpovídá délce 8880mm a druhému materiálu 15142 délce 1158mm. První materiál 14220 již vykazoval o něco větší rychlost opotřebení než materiál 12020, ale ještě nestačil k dosažení kritéria opotřebení břitu č. 3. Stejně jako v předchozím případě u materiálu 15142 došlo k zvýšení rychlosti průběhu opotřebení. Na břitu č. 3 byl stanoven stejný typ opotřebení jako na břitu č. 2 (viz. Obr. 5.2 Graf závislosti opotřebení  $VB_{B \max}$  na čase  $t$  na břitu č. 2).



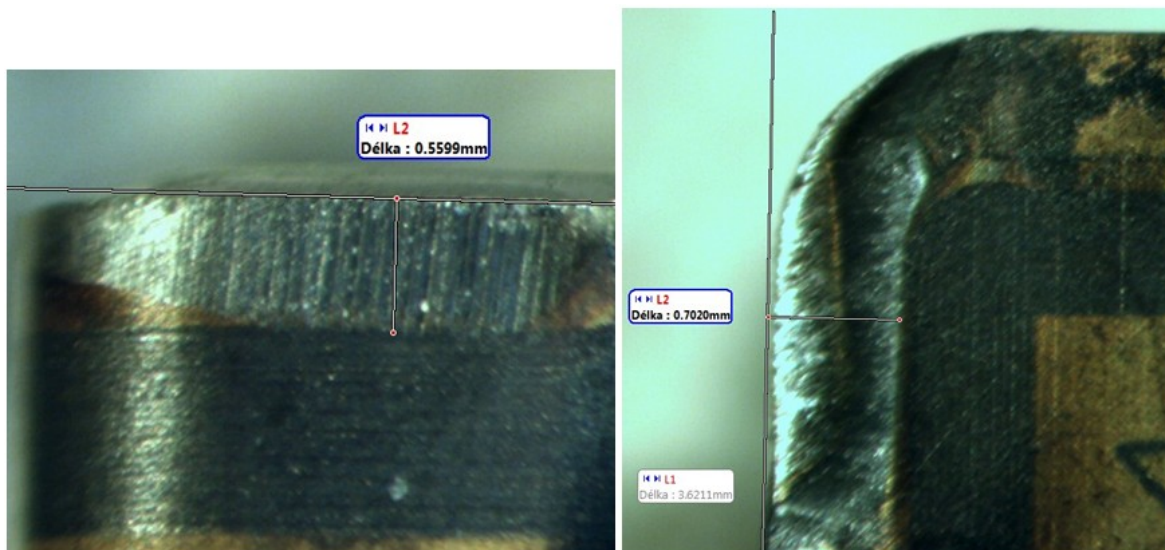
Obr. 5.3 Řez č. 18 vlevo hřbet vpravo čelo VBD

Obr. 5.4 Graf závislosti opotřebení  $VB_{B \max}$  na čase  $t$  na břitu č. 3

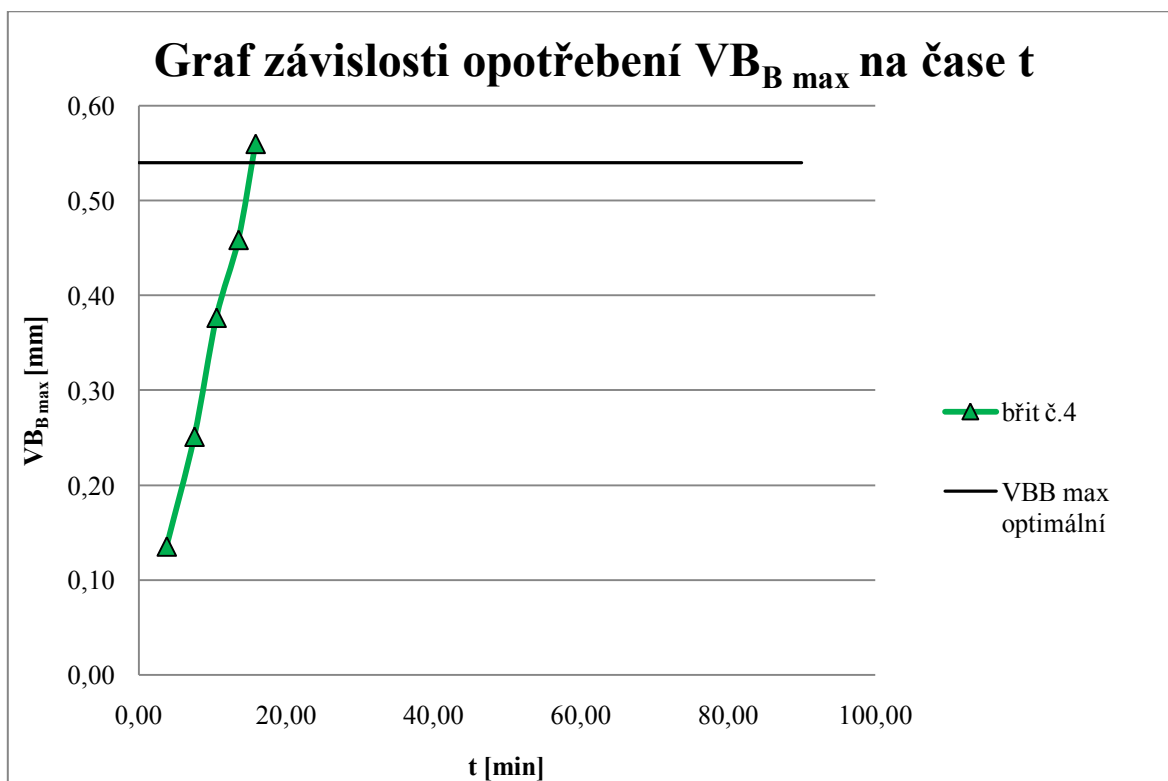
Křivka má tvar klasického průběhu opotřebení VBD. Je zde patrné, že materiál 14220 je tvrdší než materiál 15142. Mez pevnosti v tahu u prvního materiálu je 685MPa.

### 5.3 Břit č. 4

N břitu č. 4 bylo vykonáno 5 řezů na jednom materiálu 15142. Délka obrobění se rovna 2840mm. Na tomto materiálu bylo opotřebení břitu docíleno v nejkratším čase za cca. 16min. Typ opotřebení VBD byl stejný jako v předchozích případech.



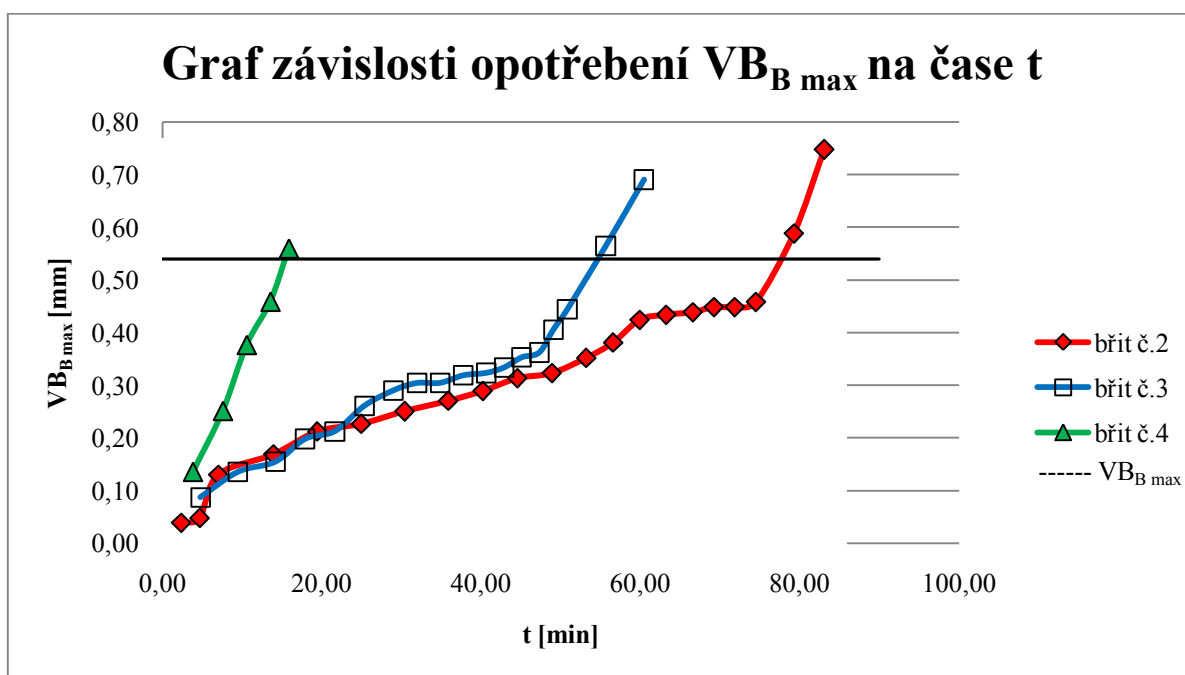
Obr. 5.5 Řez č. 18 vlevo hřbet vpravo čelo VBD



Obr. 5.6 Graf závislosti opotřebení  $VB_{B\max}$  na čase  $t$  na břitu č. 4

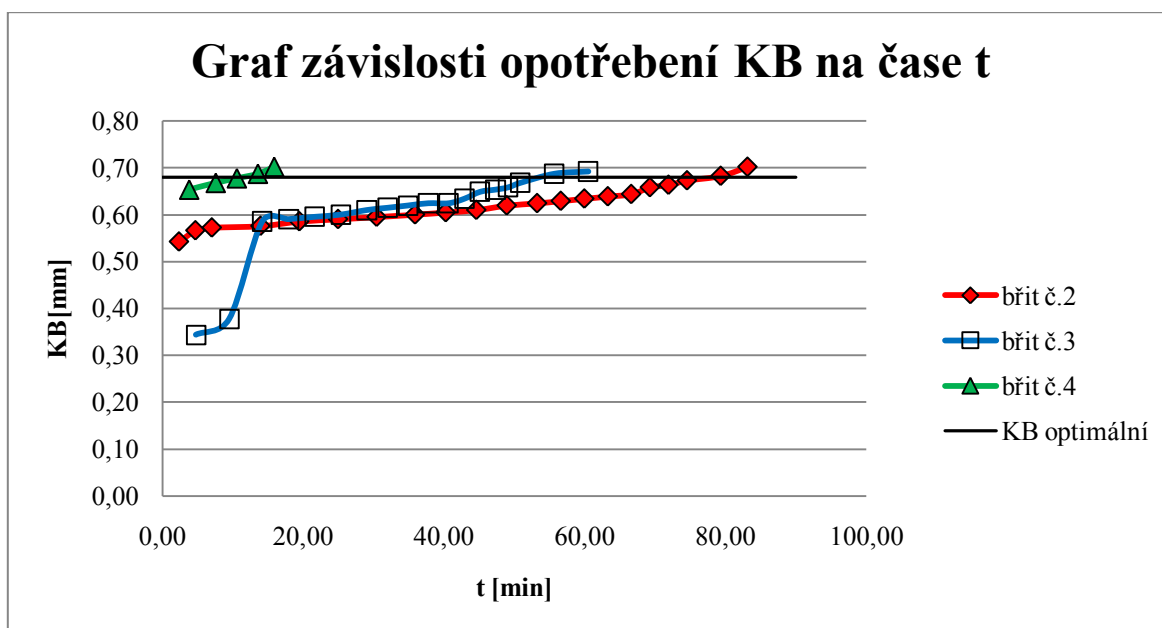
Tato křivka již není zcela ukázková, protože průběh opotřebení byl velmi rychlý oproti ostatním břitům. Na tomto základě jsme nemohli získat víc informací, protože kritérium opotřebení bylo dosaženo v krátkém čase.

#### 5.4 Grafické porovnání velikosti opotřebení všech destiček



Obr. 5.7 Graf závislosti opotřebení  $VB_{B\max}$  na čase  $t$

Na Obr. 5.7 Graf závislosti opotřebení  $VB_{B\max}$  na čase můžeme vidět standardní křivku opotřebení VBD břitu č. 2 a 3 s malými odchylkami. Tyto křivky nastaly díky velkému počtu naměřených hodnot. Křivka břitu č. 4 je velmi strmá z důvodu kratšího časového intervalu. Vodorovná čára znázorňuje kritérium opotřebení na hřbetu, které je rovno 0,54mm. Tohoto kritéria bylo dosaženo břitem č. 2 u 19 řezu. Břit č. 3 dosáhl kritéria během 17 řezu. U břitu č. 2 bylo pokračováno v opotřebovávání z důvodu toho, že ještě nebylo dosaženo kritérium opotřebení na čele VBD. Břit č. 3 byl podroben dalšímu řezu, pro získání dalších statistických údaj, i když již bylo dosaženo kritéria opotřebení i na čele destičky. U pátého řezu na břitu č. 4 došlo k dosažení kritéria opotřebení. Z těchto křivek jde vyčíst, že materiál 12020 vykazoval nejmenší nárůst opotřebení ze všech obráběných materiálů. Materiál 15142 měl naopak největší nárůst opotřebení.



*Obr. 5.8 Graf závislosti opotřebení KB na čase t*

Graf závislosti opotřebení čela KB na čase t všech břítu vykazuje standardní opotřebení na čele destičky. Na břitu č. 2 došlo k dosažení kritéria opotřebení během 20 řezu. Tento jev nastal po nejdelší době obrábění. U břitu č. 3 první dvě hodnoty vykazují menší opotřebení z důvodu počátečního typu opotřebení čela destičky. Kritéria opotřebení zde bylo dosaženo během 17 řezu a u břitu č. 4 během 3 řezu..

## **6 Závěr**

Předmětem této bakalářské práce bylo sledování opotřebením inteligentních řezných nástrojů při obrábění.

Byl proveden teoretický rozbor opotřebení bříty řezného materiálu a teoretický popis řezné keramiky. Dále je v práci podrobně popsána soustava SNOP. Experiment probíhal na univerzálním hrotovém soustruhu. Řezným materiálem byla neoxidická keramika na bázi nitridu křemíku s nanesenou odporovou vrstvou. Měření experimentu proběhlo na třech materiálech Ocel 12020 (C15E), 14220 (16MnCr5) a Ocel 15142 (42CrMo4). Obráběný materiál byl upnut do sklíčidla a podepřen hrotem, který byl upnut v pinole koníku. Pro měření opotřebení byla zvolena mikrometrická metoda. Samotné měření bylo provedeno na dílenském mikroskopu se záznamovým zařízením. Kritérium opotřebení bříty bylo zvoleno na základě velikosti odporové vrstvy destičky. Z naměřených výsledků opotřebení bylo zjištěno, že u všech třech opotřebených břitů, došlo k stejnému typu opotřebení. Na hřbetě bylo kvalifikováno rovnoměrné opotřebení a na čele opotřebení ve tvaru žlábků.

Bylo žádoucí, že u všech břitů vzniklo rovnoměrné opotřebení na hřbetě a žlábků na čele destičky. Opotřebení typu vrubu na hřbetě a lomu bříty by mělo nežádoucí účinek. Odporová vrstva destičky by byla přerušena v krátkém čase, tím pádem by bylo rychleji dosaženo kritéria opotřebení VBD. Nedošlo by k objektivnímu vyhodnocení experimentu, protože by bylo získáno málo výsledků měření. Nežádoucím vlivem na výsledky měření mohlo být občasné rozvibrování obráběného materiálu způsobené nedostatečnou tuhostí soustavy SNOP.

Tyto dosažené hodnoty opotřebení VBD byly směrodatné pro další vyhodnocení experimentu z hlediska teploty a elektrického odporu.

## 7 Seznam použité literatury:

- [1] FOREJT, M., HUMÁR, A., PÍŠKA, M., et al. Experimentální metody: Syllabus.  
[online]. Brno: VUT Brno strojní inženýrství, 2003 [cit. 2010-11-30]. Dostupné z  
www: [http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory\\_soubory/experimentalni\\_metody\\_cviceni\\_forejt\\_piska\\_humar\\_janicek.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/experimentalni_metody_cviceni_forejt_piska_humar_janicek.pdf)
- [2] AB SANDVIK COROMANT / SANDIK CZ s.r.o. Příručka obrábění - Kniha pro  
praktiky. Přel. M, Koudela. 1. vyd. Praha; Scienta, s.r.o. 1997. 857 s. Přel. z:  
Modern Metal Cutting - A Practical Handbok. ISBN 9197 22 99-4-6.
- [3] HUMÁR, A. Technologie i technologie obrábění: 1. část. Brno: VUT v Brně,  
Fakulta strojního inženýrství, 2003. 138 s. Studijní opory pro magisterskou  
formu studia "Strojírenská technologie".
- [4] KOČMAN, K., PROKOP, J. Technologie obrábění. 2.vyd. Brno: VUT, 2001. 270s.  
ISBN 80-214-3068-0
- [5] BRYCHTA, J., ČEP, R., NOVÁKOVÁ, J., PETŘKOVSKÁ, L., Technologie 2:  
1. díl. Ostrava: VŠB, 2007. 119s. ISBN 978-80-248-1641-8
- [6] Příručka obrábění [online]. Šumperk: Pramet Tools, s.r.o., 2004. Dostupné z  
WWW: [http://ns.pramet.com/download/katalog/pdf/prirucka\\_cz.pdf](http://ns.pramet.com/download/katalog/pdf/prirucka_cz.pdf), 100s.
- [7] HUMÁR, A., Materiály pro řezné nástroje. Praha: MM publishing s.r.o. 235 s.  
ISBN 978 - 80 - 254 - 2250 - 2
- [8] Electronic catalog [online]. Vancouver: Kyocera industrial corp., 2011. Dostupné z  
WWW:  
<http://www.epaperflip.com/aglaia/viewer.aspx?docid=822a4f43fe71472e97025f8dc a7e98f9>

### **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto bych chtěl poděkovat na prvním místě Bohu, že mně provedl tímto studiem až do tohoto bodu. Také jsem nesmírně vděčný mému vedoucímu práce panu Ing. Jiřímu Kratochvílovi, Ph.D. za odborné rady a vedení během psaní této bakalářské práce. Bez jeho znalostí a nasazení by nemohl být tento experiment vůbec uskutečněn. Poděkování patří také mým spolužákům Ondřeji Víchovi a Vlastimilovi Hlouškovi, kteří měli za úkol zpracovat další oblasti tohoto experimentu. Zároveň bych chtěl poděkovat VŠB-TU Ostrava za poskytnutí strojů a přístrojů na kterých byl tento experiment vykonán.

V Ostravě dne: 5.5 2011

Karel Krzyžanek